

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
Приладобудівний факультет  
Кафедра приладів і систем орієнтації і навігації**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Надія БУРАУ

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Дипломний проект**

**на здобуття ступеня бакалавра**

**за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно - інтегровані технології  
та системи навігації і керування»**

**спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»**

**на тему: «Малогабаритний стенд для дослідження енкодерів»**

Виконав:

студент IV курсу, групи ПГ-61

Голубенко Іван Максимович \_\_\_\_\_

Керівник:

доц. каф. ПСОН, к.т.н.,

Лакоза Сергій Леонідович \_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цьому дипломному  
проекті немає запозичень з праць інших  
авторів без відповідних посилань.

Студент (-ка) \_\_\_\_\_

Київ – 2020 року

## ВІДОМІСТЬ ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ

№ з/п	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4		Завдання на дипломний проект	2	
2	A4	ДП 6101. 1730.000 ПЗ	Пояснювальна записка	51	
3	A1	ДП 6101. 1730.000 СК	Стенд. Складальний кресленик	1	
4	A1	ДП 6101. 1730.000 КС	Кінематична схема	1	
5	A1	ДП 6101. 1730.000 СК2	Стенд. Складальний кресленик розібраний	1	
6	A3	ДП 6101. 1730.000 ДКЧ	Деталювання. Колесо черв'ячне	1	
7	A3	ДП 6101. 1730.000 ДР	Деталювання. Редуктор	1	
8	A3	ДП 6101. 1730.000 ТК	Деталювання. Ручка	1	
9	A3	ДП 6101. 1730.000 ДШ	Деталювання. Шкала грубого відрахунку	1	

				ДП 6101.1730.000		
	ПІБ	Підп.	Дата	Відомість дипломного проекту	Лист	Листів
Розробн.	Голубенко І.М				1	1
Керівн.	Лакоза С.Л.				КПІ ім. Ігоря Сікорського Каф. ПСОН Гр. ПГ-61	
Консульт.						
Н/контр.						
Зав.каф.	Бурау Н.І.					

**Пояснювальна записка  
до дипломного проєкту  
на тему: «Малогабаритний стенд для дослідження  
енкодерів»**

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

**Приладобудівний факультет**

**Приладів і систем орієнтації і навігації**

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані технології та системи навігації і керування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ПСОН

\_\_\_\_\_ Надія БУРАУ

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проєкт студенту**

**Голубенку Івану Максимович**

1. Тема проєкту «Малогабаритний стенд для дослідження енкодерів», керівник проєкту – Лакоза Сергій Леонідович, к.т.н., затверджені наказом по університету від «25» травня 2020 р. №1180-с

2. Термін подання студентом проєкту **Малогабаритний стенд для дослідження енкодерів** – 11 червня 2020 р.

3. Вихідні дані до проєкту:

Діапазон виставки кутів – 0-360°; Точність задання кутового положення по відліковим шкалам – 1 кутові хвилини; механізм має мати грубу ( градусну) шкалу та точну (хвилинну) шкалу; діаметри корпусів енкодерів – від 20 мм до 60 мм; діаметр валів, що приєднуються до поворотного механізму стенду – від 4 до 12 мм; бажано наявність роз'ємів для електричного підключення енкодерів; конструкція стенду має забезпечувати швидку та легку установку енкодерів; габарити – не більше 200 х 200 х 200 мм. Живлення – 220 В 50 Гц, 12 В та 5 В постійного струму.

4. Зміст пояснювальної записки

Огляд енкодерів та їх класифікація, порівняльні таблиці з характеристиками; огляд стендів для дослідження датчиків кута та енкодерів; кінематичний розрахунок зубчатого механізму повороту валу енкодера; розрахунок грубої шкали; розрахунок точної шкали; розрахунок точності механізму;

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): збірковий кресленик – 1 А1; кінематична схема – 1А2; деталювання – 1А1; 3D модель у зібраному та рознесеному стані – 1А1; збірковий кресленик механізму швидкої установки енкодерів – 1А2.

#### 6. Консультанти розділів проєкту\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Огляд енкодерів	11.05.2020	
2	Огляд існуючих стендів та рішень	17.05.2020	
3.	Кінематичний розрахунок механізму стенда	20.05.2020	
4.	Розрахунок шкал та точності стенду	30.05.2020	
5.	Проектування механізмів кріплення енкодерів та під'єднання їх до стенду	05.06.2020	
6.	Виконання креслеників	09.06.2020	
7.	Оформлення пояснювальної записки проєкту	11.06.2020	

Студент

Іван ГОЛУБЕНКО

Керівник

Сергій ЛАКОЗА

---

\* Якщо визначені консультанти. Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проєкту.

## ЗМІСТ

<b>АНОТАЦІЯ .....</b>	<b>8</b>
<b>ANNOTATION.....</b>	<b>9</b>
<b>ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....</b>	<b>10</b>
<b>ВСТУП .....</b>	<b>11</b>
<b>РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЕНКОДЕРІВ ТА СТЕНДОВГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЇХ ДОСЛІДЖЕННЯ .....</b>	<b>12</b>
1.1. Сучасні інкрементальні та абсолютні енкодери .....	12
1.2. Стенди для перевірки і тестування роботи датчиків кута .....	20
<b>ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1 .....</b>	<b>29</b>
<b>РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....</b>	<b>30</b>
2.1. Опис розробленого стенду .....	30
2.2. Кінематичний розрахунок .....	32
2.3 Розрахунок грубої та точної шкали механізму.....	39
2.4 Розрахунок точності механізму .....	44
<b>ВИСНОВОК.....</b>	<b>48</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>49</b>
<b>ДОДАТОК 1 .....</b>	<b>51</b>
<b>ДОДАТОК 2 .....</b>	<b>52</b>
<b>ДОДАТОК 3 .....</b>	<b>53</b>

ДОДАТОК 4 .....	54
-----------------	----

### Анотація

В даному дипломному проєкті були розглянуті абсолютні та інкрементальні енкодери, їх характеристики, габарити, принцип роботи та виробники. Розглянуто різні види стендів для дослідження енкодерів, їх характеристики, розроблено малогабаритний стенд для дослідження енкодерів, зроблено його опис. Створена та досліджена кінематична схема малогабаритного стенду для дослідження декодерів. Виконано розрахунок грубих шкал та точної шкали, розроблені циферблати зі стрілками для виконання розрахунків кута повороту енкодера. Досліджена точність даного механізму та чинники, що впливають безпосередньо на неї. Побудована 3D - модель стенду в зібраному та розібраному стані, виконане деталювання чотирьох основних елементів: черв'ячного колеса, редуктора, ручки та грубої шкали. Завдання, які були поставлені науковим керівником дипломного проєкту переді мною були виконані, а саме: опис енкодерів та стендів – зроблено, кінематичний розрахунок, розрахунок шкал та точності механізму – виконано, кресленики виконані та проектування механізмів кріплення енкодерів та під'єднання їх до стенду – зроблені. Розроблено повноцінний малогабаритний стенд для дослідження енкодерів.



## Annotation

In this degree project were considered absolute and incremental encoders, their characteristics, dimensions, the principle of operation and their manufacturers. Different types of stands for encoder research, their characteristics, their characteristics here were considered, was developed, small-sized stand for encoder research, a description was made. Kinematic scheme small-sized stand for encoder research was made and researched. The calculations of rough and accurate scale were done, the dials with pointers that perform the calculation encoder angle of rotation were done. The accuracy of this mechanism and factors that influence directly on her were considered. The 3-D model of stand in assembled and disassembled condition were built, the detailing of four basic elements: a worm wheel, a reducer, a control knob and a rough scale were done. The tasks that were set by my supervisor of degree project for me were done, namely: the encoder and stand descriptions were done, the drawings and designing encoder fastening mechanisms and connecting them to the stand were done. The full-fledged small-sized stand for encoder consider is done.

### **Перелік скорочень, умовних позначень**

ЗК – зубчате колесо;

Об. – оберти;

Хв. – хвилини;

Імп. – імпульси;

Гр. – грам;

Грн. – гривня;

Град. – градус;

ПЛК – програмний логічний контролер;

МЕМС – мікроелектромеханічні системи;

СКТ – синусно-косинусний трансформатор;

СПЦ – стіл поворотний цифровий;

## **Вступ**

На сьогоднішній день енкодери є дуже важливими частинами механізмів вимірювання кутових положень і різноманітного випробувального та технологічного обладнання. Але систем та стендів для їх тестування та оцінки точності чи калібрування, особливо для невеликих навчальних лабораторій – дуже мало. Різноманітність енкодерів вражає – їх випускає понад 30 різних компаній і кожна з них має біля 100-150 різних екземплярів.

Тому було обрано у якості теми розробку малогабаритного стенду для дослідження енкодерів. Розробка даного стенду має виконуватися з максимальним використанням існуючих вузлів. Для цього був використаний черв'ячний механізм, до якого можна під'єднати енкодер. Для задання необхідного найменшого кута повороту досліджуваних датчиків було розроблено додатковий редуктор.

## РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ЕНКОДЕРІВ ТА СТЕНДОВГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ЇХ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 1.1. Сучасні інкрементальні та абсолютні енкодери

*Інкрементальний енкодер* – це імпульсний датчик. При повороті вихідного валу об'єкта під'єданого до енкодера (жорстко чи за допомогою муфт), на виходах інкрементального енкодера фіксуються імпульси спеціальної форми (зазвичай, меандр). Кількість імпульсів буде прямо пропорційна до кута повороту валу об'єкта. Найчастіше такі перетворювачі застосовують у верстатобудуванні, для того щоб зафіксувати кутове переміщення вала чи в автоматизованих системах для того щоб виміряти і зафіксувати швидкість повороту вала в колі оберненого зв'язку. Головний робочий параметр цього приладу – це кількість імпульсів за одиницю роботи. Значення кута повороту визначається підрахунком числа імпульсів від точки відліку (нульове значення) до місця закінчення повороту. Дані з такого роду енкодерів потребують зовнішньої пристрою, що постійно підраховуватиме кут повороту валу енкодера. У разі вимкнення цього пристрою усі дані енкодера обнуляться. У результаті чого при увімкненні його наступного разу – дані будуть відсутні. Саме тому потрібно приводити вал у початкове положення при наступному використанні приладу [1].

У конструкції інкрементального енкодера обов'язково має міститися диск з набором смужок, які за замовчуванням підключені до землі, і при повороті вони замикаються і розмикаються. Тоді на виході ми бачимо сигнал схожий на меандр (Рис.1.1). Такі кругові смужки у енкодера дві. Смужки зміщені між собою на одну чверть своєї довжини, як і сигнали – для формування на електричних виходах енкодерів пари квадратурних сигналів. Саме це і дозволяє визначити напрям обертання. У такого інкрементального енкодера є 4 стани:

1. 11;
2. 01;
3. 00;

4. 10;

Якщо енкодер підключив до землі якусь ніжку, то на ній буде логічний нуль, у стані спокою – на виході буде логічна одиниця, на початку обертання енкодера в будь-яку сторону, то спочатку один вивід підключається до землі, потім інший. Далі ці виводи по черзі відключаються від землі і на них знову з'являється логічна одиниця. Три стани, які не рівні нулю є нестійкими – енкодер не може в них знаходитися. У багатьох з них реалізований підрахунок поворотів за допомогою таймерів, які мають певні входи. Таймер рахує на скільки клацань і в який бік повернутий енкодер та видає значення. Тобто лічильник інкрементує попереднє значення кута на підраховану кількість імпульсів [2]. У табл.1 та табл.2 приведено порівняльні характеристики промислових енкодерів від виробників Autonics, Kubler та Sick. На рис.1.2-1.3 показано фотографії енкодерів цих виробників.

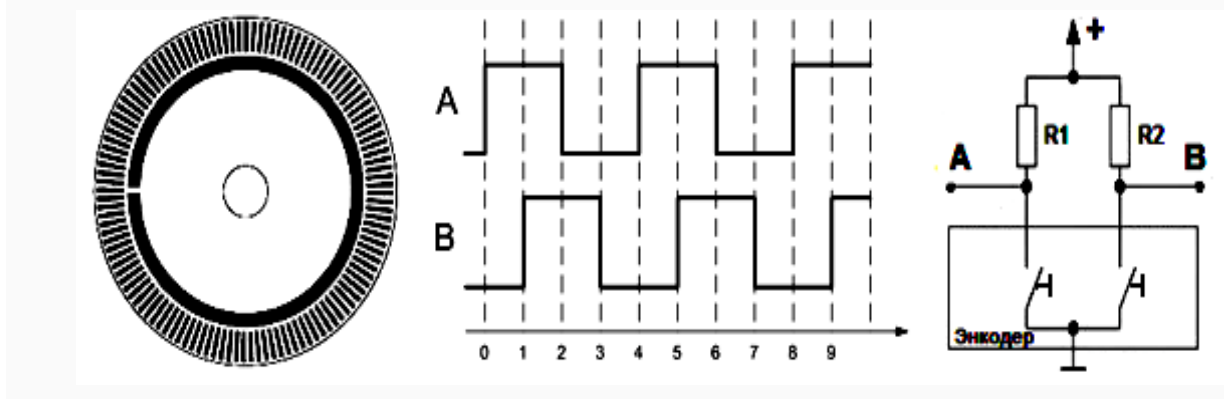


Рис. 1.1. Схема роботи інкрементального енкодера

Таблиця 1. Інкрементальні енкодери фірми Autonics

	E60H-20- 8192-3-N- 24	E68S 15- 1024-6-L-5	E80H 30 - 3200-3-N- 24	ENA-500- 2-N-24	E100H 35- 10000-6-L-5
Обертання	До 6000об/хв	До 6500об/хв	До 3600об/хв	До 5000об/хв	До 3600 об/хв
Параметри	8192 імп./об.	500,600,1024 імп./об.	60-3200 імп./об.	1-5000 імп./об.	512,1024, 1000імп./об.

Струм	5 В+-5%	5 В+-5%	5 В +-5%	5 В +-5%	5 В +-5%
Робоча $t^{\circ}$	-10...+70	-10...+70	-10...+70	-10...+70	-10...+70
$t^{\circ}$ зберігання	-25...+85	-25...+85	-25...+85	-35...+85	-35...+85
Герметичність	IP 50	IP 65	IP 50	IP 50	IP50
Вага	300гр.	550гр.	560гр.	345гр.	1200гр.
Ударна витримка	100G	50G	70G	75G	75G
Довжина валу	60мм	68мм	80мм	68мм	100мм
Діаметр валу	20мм	15мм	30,32мм	10мм	35мм
Типи виходів	NPN-вихід з відкритим колектором	Line Driver	NPN-вихід з відкритим колектором	NPN-вихід з відкритим колектором	Line Driver
Ціна	8760.81грн.	7732.40грн.	7839.88грн.	4430.85грн.	13616.22грн.



а)



б)

Рис. 1.1. Інкрементальні енкодери: а) E68S 15-1024-6-L-5, б) ENA-500-2-N-24

Табл.2. Інкрементальні енкодери “Kubler” та “Sick

	“Kubler”05.2 420.1141.102 4	“Kubler” 8.KIS40.114 1.4096	“Sick”DRS 60- C4A08192	“Sick”DGS 66- AVK04096	“Kubler”8.50 000.6552.50 20
--	-----------------------------------	-----------------------------------	------------------------------	------------------------------	-----------------------------------

Обертання	До 12000об/хв	До 3000об/хв	До 3000об/хв	До 6000об/хв	До 12000об/хв
Параметри	1024 імп./об	2500 імп./об.	8192імп./об .	4096 імп./об.	5000 імп./об.
Струм	8В+-5%	10В+-5%	10В +-5%	10В +-5%	5В+-5%
Робоча $t^{\circ}$	-20...+85	-20...+70	-20...+85	-20...+85	-40...+85
$t^{\circ}$ зберігання	-25...+90	-25...+85	-25...+90	-25...+90	-30...+95
Герметичність	IP 64	IP 64	IP 65	IP 67	IP 67
Вага	180гр.	320гр.	480гр.	440гр.	340гр.
Ударна витримка	75G	75G	70G	70G	75G
Довжина валу	6мм	8мм	60мм	66мм	53мм
Діаметр валу	30мм	36мм	10мм	12мм	12мм
Вихід системи	Push-pull	Push-pull, RS422	NPN-вихід з відкритим колектором	NPN-вихід з відкритим колектором	Push-pull, RS422
Ціна	116.15грн.	128.06грн.	67,94грн.	96,38грн.	125.26грн.



а)



б)

Рис. 1.2. Інкрементальні енкодери: а) DRS60-C4A08192, б) 8.5000.6552.5000

**Абсолютний енкодер** – це абсолютний датчик положення. У ньому наявні складніші процеси обробки електричних сигналів і оптична схема. Абсолютні енкодери видають дані щодо кутового положення об'єкта одразу ж

після ввімкнення. Головний робочий параметр цього приладу – це кількість спеціальних цифрових кодів за один оберт. Оскільки вимірювання кута повороту валу проводиться не так як у інкрементальних енкодерах (інкрементальний підрахунок імпульсів), а за допомогою унікальних цифрових кодів – абсолютні енкодери здатні виконувати більше число завдань. Код із цифр, що з'являється під час ввімкнення приладу – це позначення кута повороту валу об'єкта у даний момент часу. Даний вид енкодерів чудово виконує не тільки задачу вимірювання кутової швидкості, а й видає правильні дані щодо точного положення об'єкта в поточний момент, навіть незалежно від того увімкнений він чи ні [1, 2].

У цих датчиків весь круг повороту розділений на визначену кількість секторів. Дані сектора пронумеровані, при роботі абсолютний енкодер видає номер сектора, тому він і називається абсолютним. Завжди можна визначити, на який кут відносно нульового сектора повернутий енкодер в конкретний момент. На рис.1.4 показана схема датчика, у якого використовується 5 виводів для видачі значень повороту.

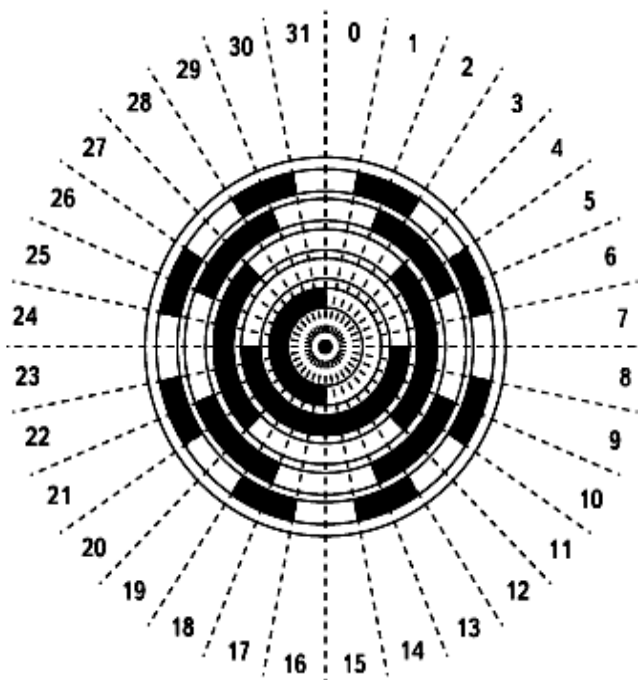


Рис. 1.3. Схема абсолютного енкодера

Для роботи із абсолютними енкодерами використовують код Грея. Його особливістю є те, що при переключенні енкодера на одиницю, значення коду



Грея також міняється на одиницю тільки в одному з розрядів. Приклад такого коду приведений в табл.3

Табл. 3. Код Грея

N	Двійковий код	Код Грея
0	000	000
1	001	001
2	010	011
3	011	010
4	100	110
5	101	111
6	110	101
7	111	100

Правило побудови послідовності коду Грея: молодший розряд у послідовності чисел в коді Грея приймає значення 0 і 1, потім наступний старший розряд стає одиничним і молодший розряд приймає свої значення уже в зворотньому порядку (1, 0). Два молодших розряди приймають значення 00, 01, 11, 10, а потім при одиничному старшому розряді ті ж самі значення в зворотньому порядку [2], як показано у табл.3. У табл.4 та табл.5 приведено порівняльні характеристики промислових абсолютних енкодерів від виробників Autronics, Kubler та Sick. На рис.1.5-1.6 показано фотографії абсолютних енкодерів цих виробників.

Таблиця 4. Абсолютні енкодери “Autonics”

	EPM50S8- 101-B-PN- 24	EP50S8- 1024 -1 R- P-24	EP50S6 - 36-3 -N-24	ENP-1-1-1- R-360-P	EP58SC10- 1024-1RP- 24
Обертання	3000об/хв	3000об/хв	3000об/хв	3600об/хв	3000об/хв
Параметри	1024,8192 імпл./об.	360 імпл./об.	360 імпл./об.	6-360 імпл./об.	64-1024 імпл./об.
Струм	5 В+-5%	5 В+-5%	5 В+-5%	5 В+-5%	5 В+-5%
Робоча t°	-10...+70	-10...+70	-10...+70	-10...+70	-10...+70
t° зберігання	-25...+ 85	-25...+ 85	-25...+ 85	-25...+ 85	-25...+ 85
Герметичність	IP 50	IP 64	IP 50	IP 50	IP 50
Вага	322гр.	380гр.	308гр.	478гр.	435гр.
Ударна витримка	60G	50G	50G	75G	50G
Довжина валу	50мм	50мм	50мм	60мм	58мм
Діаметр валу	8мм	8мм	8мм	10мм	10мм
Типи виходу	PNP, NPN- вихід з відкритим колектором	PNP-вихід з відкритим колектором	NPN- вихід з відкритим колектором	PNP- вихід з відкритим колектором	PNP- вихід з відкритим колектором
Ціна	74,83грн.	39,47грн.	68,94 грн.	70,71грн.	74,83грн.

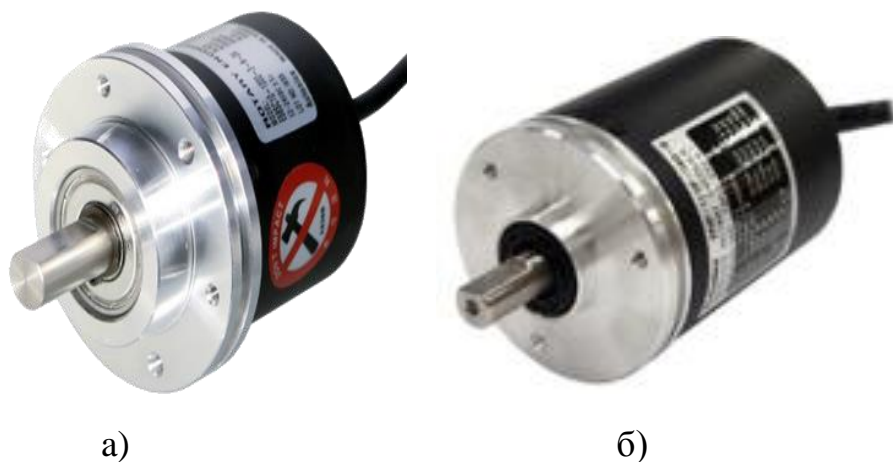


Рис. 1.5. а) EP58SC10-1024-1RP-24, б) ENP-1-1-1-R-360-P

Табл. 5. Абсолютні енкодери “Kubler” та “Sick”

	“Kubler” 8.F3663. 2521.G222	“Kubler” 8.M3661. 3544.4112	“Sick” ARS 60- G4B04096	“Sick” ATM 60- A1A108192	“Kubler” 8.T3661. 3844. G121
Обертання	До 12000об/хв	До 6000об/хв	До 6000 об/хв	До 6000 об/хв	До 6000 об/хв
Параметри	2048імп./об .	2048 імп./об.	4096імп./об .	8192імп./об .	4096імп./об .
Струм	10В+-5%	10В+-5%	10В+-5%	10В+-5%	10В+-5%
Робоча t°	-30...+90	-40...+85	-20...+85	-20...+85	-10...+80
t° зберігання	-35...+95	-40...+90	-30...+90	-30...+90	-20...+85
Герметичність	IP 67	IP 69K	IP 66	IP 67	IP 65
Вага	200гр.	270гр.	450гр.	420гр.	370гр.
Ударна витримка	60G	65G	70G	70G	60G
Довжина валу	42мм	36мм	60мм	60мм	68мм

Діаметр валу	10мм	10мм	10мм	10мм	10мм
Типи виходу	Push-pull, RS422	Push-pull, RS422	NPN- вихід з відкритим колектором	NPN- вихід з відкритим колектором	Push-pull
Ціна	348,46грн.	385,19грн. .	212,11грн.	234,46грн.	376.58грн.



Рис.1.6.а) ARS 60-G4B04096, б) 8.F3663. 2521.G222

## 1.2. Стенди для перевірки і тестування роботи датчиків кута

Випробувальний стенд – це лабораторне устаткування, яке необхідне для спеціальних, контрольних, приймальних досліджень різних об’єктів. Самі ж об’єкти піддаються дії навантажень, рівних чи перевищуючих навантаження в реальних умовах.

Перевагою досліджень на стенді перед дослідом в реальних умовах – це можливість оцінки реакції об’єкта на певний тип і величину навантаження при фіксованих параметрах, що дозволяє виявити конструктивні недоліки.

Розробка стенда для тестування обладнання з деталями, що обертаються інколи потребує поглибленої експертної оцінки. Доведеться мати справу при вимірах із варійованою кутовою швидкістю вузлів устаткування. Робоче місце повинне бути забезпечене шумовою ізоляцією та перевірене на власні частоти (перекриття, підлога), де встановлюються двигуни та імітатори навантаження.

Одним з типів стендів є поворотні столи. Конструкція одного з відомих поворотних столів показана на рис.1.7 [7]. Поворотний стіл складається з корпусу 1, у якому обертається платформа 7. Статор синусно-косинусного поворотного трансформатора-датчика (СКТ) 2 типу ВТ-5 жорстко скріплений з корпусом установки, а ротор - з віссю обертової платформи. На платформі встановлений СКТ - приймач 8 типу ВТ-5, ротор якого приводиться в рух двигуном 11 ДИД2ТА через редуктор 10. Підведення живлення до СКТ 8 і двигуна 10 здійснюється через колектор 3. Конструкція стола забезпечує одночасний поворот на однаковий кут статора СКТ - приймача й ротора СКТ - датчика. Платформа 7 приводиться в обертання приводним двигуном 13, у якості якого використовується двофазний асинхронний двигун-генератор ДГ-І. Редуктор, що складається з пари циліндричних зубчастих коліс 12 і черв'ячної передачі 5 передає обертаючий момент від двигуна до осі обертання платформи. Кут повороту платформи можна визначити за допомогою лімба 6, укріпленого на платформі установки й індексу 4, жорстко зв'язаного з корпусом [7].

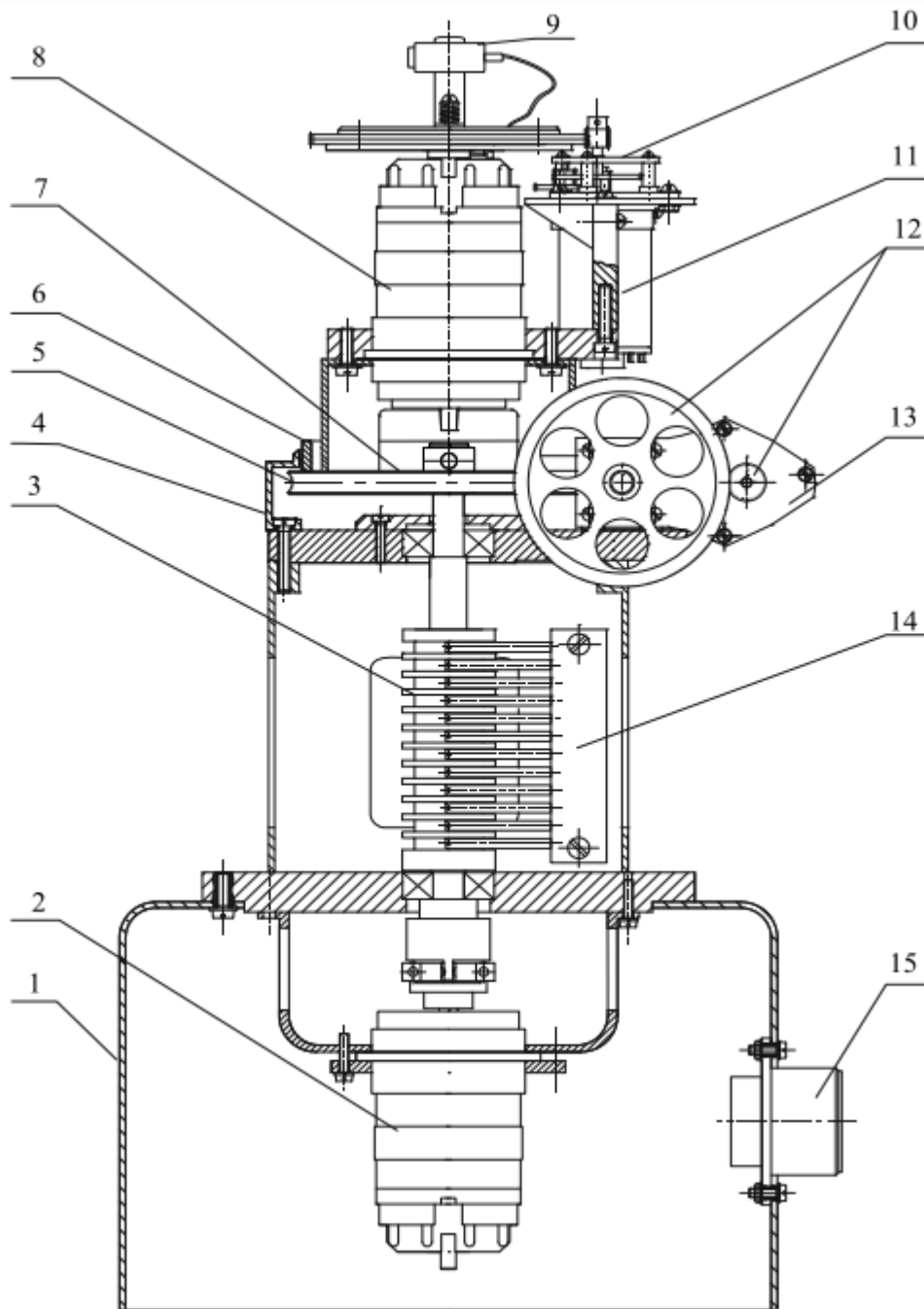


Рис. 1.7. Поворотний стіл

1 - корпус; 2 - СКТ-датчик; 3 - вісь; 4 - індекс; 5 - колесо черв'ячне; 6 - шкала; 7 - платформа; 8 - СКТ-приймач; 9 - коліматор; 10 - редуктор; 11 - двигун слідкуючої системи; 12 - редуктор приводу платформи; 13 - двигун приводу; 14 - колектор; 15 - штепсельне рознімання.

Для всебічного тестування об'єкта нерідко доводиться відхилятися задля універсалізації стану для більш поглибленого врахування особливостей

устаткування, яке необхідно досліджувати. Виконуються тести на функціональність і стабільність на окремих компонентах і самої системи в цілому.

При тестуванні на стенді обладнання з валом, що обертається необхідно звертати увагу на власні частоти вала з приєднаним до нього двигуном. Резонансні частоти обмежують кутові швидкості вала, які не повинні наближатися до резонансних для уникнення механічних пошкоджень. Для знаходження власних частот можна використовувати техніку модального аналізу. Наприклад, до валу прикладають інверсно-обертальне збудження і вимірюють різницю фаз в яких-небудь двох точках [3].

Розглянемо наступний стенд, при побудові якого, були використані наступні елементи: ПЛК-FATEK FBS-20MAR2-AC (має 12 цифрових входів і релейних виходів, один інтерфейс RS232 з можливістю розширення, вбудований апаратний, програмний лічильник. Живиться ПЛК від мережі 220В перемінного струму і має вбудований блок живлення 24В постійного струму), HMI-FATEK FT-056ST-T11 (має розмір екрану 5.6 і роздільну здатність екрану у 320x234 пікселі з кількістю кольорів в 64 тисячі, цей тип панелі споряджений кількома Com портами, з можливістю зв'язку по таким інтерфейсам як RS232/RS484/RS422 і один USB порт. Живиться 24В постійного струму), блок живлення 1- MEAN WELL DR-4512 (підключається до мережі 220В перемінного струму і на виході видає напругу в 12В постійного струму), блок живлення 2 – FATEK ADP-24V-4A (підключається до мережі 220В перемінного струму і на виході видає напругу в 24В постійного струму), перетворювач напруги DCBK3035 (так як енкодер Mitsubishi живиться 5В постійного струму. Перетворювальна плата має вихідні 2.5-3.5В постійного струму і регульовану напругу 1.25-35В), спеціально розроблена і створена плата підсилення і перетворення аналогового сигналу у цифровий, має дві окремі схеми для Sick і Mitsubishi.

При повороті валу, енкодер SICK SFS60 видає аналогові сигнали у вигляді синусоїди і косинусоїди, котрі потрібні для визначення напрямку

обертання енкодера. Ці сигнали подаються на плату підсилення, для отримання дискретного сигналу у вигляді прямокутних імпульсів із аналогового сигналу, а також для подальшого підсилення для подачі до цифрових входів ПЛК. Окрім основних сигнальних дротів, кожна фаза має додатково дріт із опорною напругою ( $REF_{sin}$ ,  $REF_{cos}$ ). Задача перетворення аналогового сигналу в цифровий лягає на схему подвоєного операційного підсилювача (LM358N), яка виконує функцію порівняння сигналу по напрузі. В той момент, коли рівень напруги сигнального дроту співпадає з опорною напругою – генерується імпульс, який посилюється до напруги живлення мікросхеми.

Енкодер Mitsubishi OSE 1024-3-15, має дві фази А та В, які підключені до цифрових входів ПЛК через підсилювач сигналу.

Операторська панель управління по інтерфейсу RS232 зв'язується з тим, що програмується логічно контролером, і обмінюється з ним по фірмовому протоколу FATEK на швидкості 9600 бод.

ПЛК FATEK FBS-20MMAR2-AC виконує циклічно з достатньою інформацією сканування в ПЛК програму і відправляє дані про швидкості, кути, кількості імпульсів, кількості обертів, напрямі обертання двох енкодерів панелі управління. Панель управління відображає ці дані на своїх екранах.

Наступним є лабораторний стенд “Датчики технологічної інформації 1” (див. рис.1.8). Він складається з:

1. Моноблок “Датчики механічних величин”, котрий має:

1.1. Блок живлення( $\pm 15V, 1A$ ;  $+5V, 3A$ ).

1.2. Генератор перемінної напруги 10V, частота 400кГц, максимальний струм напруги 0.3A, вихідний опір 2Ом.

1.3. Блок датчиків частоти обертання, котрий має:

- інкрементальний оптичний енкодер;
- тахогенератор постійного струму.

1.4. Блок датчиків кутового положення:



- інкрементальний оптичний енкодер;
- потенціометричний датчик положення.

1.5. Трансформатор, що обертається.

1.6. Оптичний датчик лінійного переміщення.

1.7. Магнітний датчик лінійного переміщення.

1.8. Блок цифрових індикаторів:

- індикатор швидкості приводного двигуна  $0 \dots 2000 \text{ об./хв.}$ ;
- вольтметр  $0 \dots 10 \text{ В}$  для вимірювання перемінного і додатного постійного струму;
- індикатор відстані і кількості імпульсів оптичної та магнітної вимірювальних систем, діапазони вимірювань:  $0 \dots 200 \text{ мм}$ ,  $0 \dots 2000 \text{ імп.}$ ;

2. Комплект кабелів і з'єднувальних приводів.

3. Комплект безконтактних кінцевих вимикачів.

4. Індуктивний перетворювач напруги.

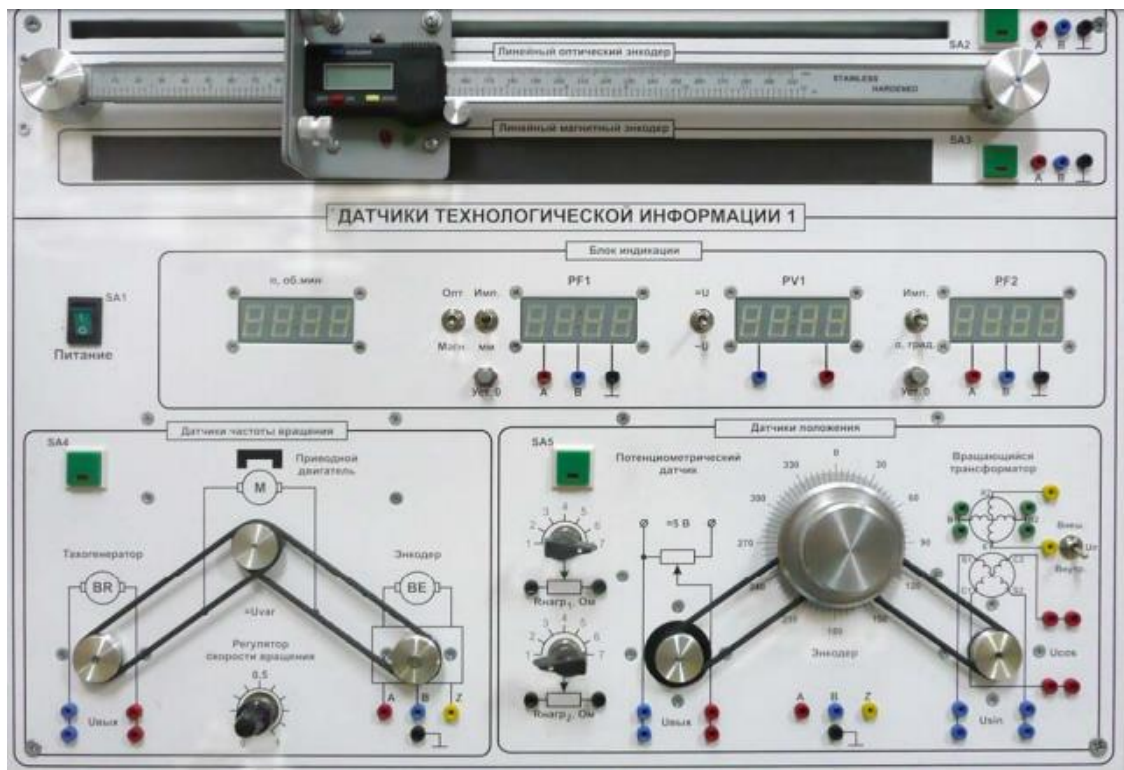


Рис. 1.8 Зовнішній вигляд лицевої панелі моноблоку “Датчики технологічної інформації 1”

У [5] описано цифровий поворотний стіл СПЦ-383. СПЦ-383 назначений для задання і вимірювання кута в горизонтальній чи вертикальній площинах. Принцип роботи оснований на перетворенні кута повороту в електричний сигнал, який відповідає заданому куту. Базовими елементами стола являються: оптична ділильна головка і датчик кута. При заданому куті повороту датчик кута формує послідовність імпульсів, яка через інтерфейсний модуль поступає на блок керування, де шляхом підрахунку числа імпульсів відбувається визначення певного кута. В склад блока керування входить процесорний модуль, який здійснює попередню обробку інформації з кутового енкодера і управління розворотами. В конструкції цифрового поворотного стола передбачена можливість задання кута в двох режимах: в ручному і автоматичному[5].

Далі розглянемо поворотні універсальні одновісні, двовісні, тривісні стенди. На рис.1.9 показано малогабаритний одновісний стенд моделі СОА-15-05, що призначений для випробувань та калібровки інерціальних МЕМС-датчиків і систем на їх основі. Стенд оснащений кронштейном, який дозволяє орієнтувати вісь обертання стенда в площині горизонту, для забезпечення калібрування датчиків в полі вектора сили тяжіння [4].



Рис. 1.9. СОА-15-05

Параметри:

Маса – 5кг, діаметр планшайби – 135мм, висота-135мм;

Діапазон кутових переміщень – не обмежений;

Діапазон швидкостей обертання -  $\pm 720$ град./сек;

Гранична похибка позиціонування – 15кутових сек;

Нестабільність кутової швидкості за оберт – 0.01%;

Малогабаритний двоосний стенд поворотний стенд моделі СДА-15-05 показано на рис.1.10 [4]. Він розрахований на навантаження масою до 5кг і дозволяє калібрувати МЕМС-гіроскопи та акселерометри, компактні волоконно-оптичні і твердотілі хвильові гіроскопи, інерціальні блоки на їх основі.



Рис. 1.10. СДА-15-05

Параметри:

Маса – 5кг, діаметр планшайби – 500мм, висота-350мм,

ширина по зовнішній осі – 500мм;

Діапазон кутових переміщень – не обмежений;

Діапазон швидкостей обертання -  $\pm 360$ град./сек;

Гранична похибка позиціонування – 15кутових сек;

Нестабільність кутової швидкості за оберт – 0.01%;

Високоточний тривісний поворотний стенд моделі СТА–2–40П [4], показаний на рис.1.11. Він призначений для калі бровки, випробувань і полу натурного моделювання режимів роботи гіроскопічних систем різного типу, класу точності і призначення масою до 40кг.

Для зручності моделювання навантаження на робочу поверхню стенда передбачені механічні аретири, які дозволяють зафіксувати осі стенда в будь-якому положенні. Для підвищення стабільності швидкості обертання стенд має систему балансування:

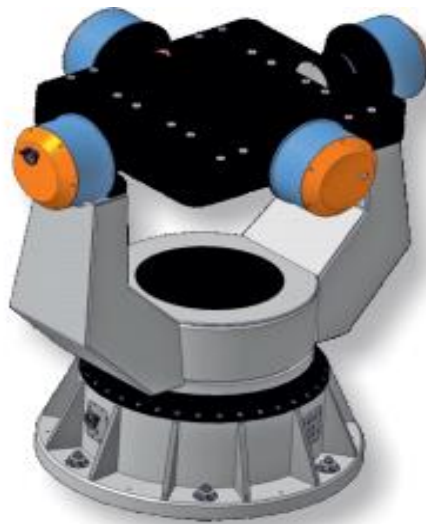


Рис. 1.11. СТА – 2–40П

Параметри:

Маса – 40кг, діаметр основи – 1100мм, висота - 13800мм,  
ширина по зовнішній осі – 1650мм, зміщення робочої поверхні - 95мм;

Діапазон кутових переміщень – не обмежений;

Ортогональність осей - <15кутових сек;

Стабільність обертання за оберт – 0.005%;

Діапазон швидкостей обертання - +-0.01 - +-300град./сек;

Допуск по швидкості – 0.01 град./сек;

Гранична похибка по вн., сер. та зовн. осях – 2,5 і 5 кутових сек(відповідно);

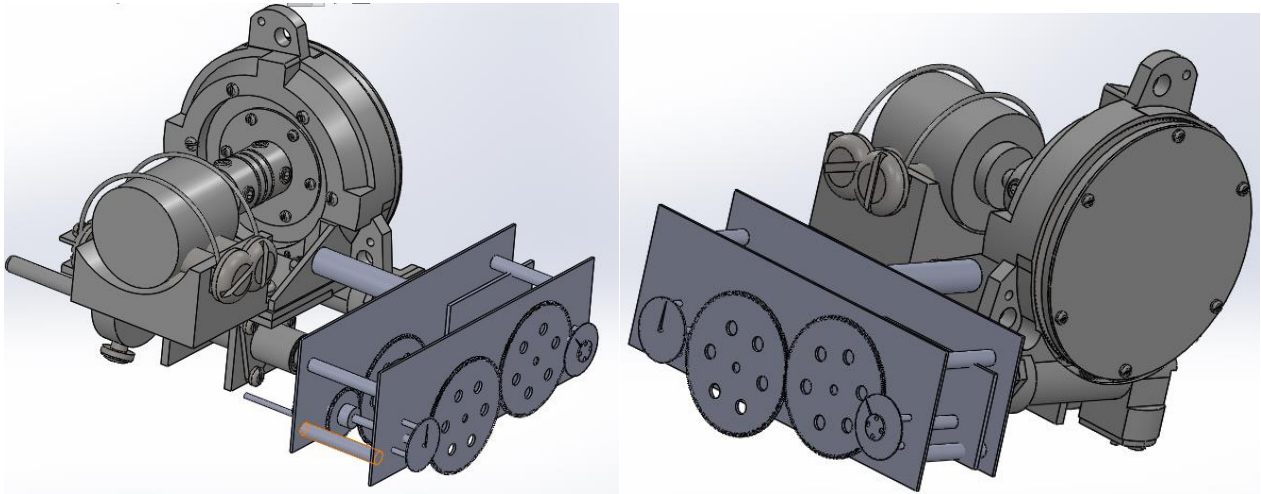
Нестабільність кутової швидкості за оберт – 0.01%.

### **Висновки до розділу 1**

У розділі описано основні особливості інкрементальних та абсолютних енкодерів, приведені характеристики серійних промислових датчиків такого типу. Виконано огляд доступних стендів для виконання тестування обладнання в різні кутові положення. Частина з даних стендів не підходить для виконання умов що поставлені в технічному завданні, а інші хоч і являються універсальними, проте є дороговартісними і великогабаритними для того, щоб застосовувати для тестування енкодерів. Отже розробка малогабаритного стенду для дослідження енкодерів є актуальною задачею.

## РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 2.1. Опис розробленого стенду



Розроблений стенд складається із механізму у вигляді черв'ячного колеса і черв'яка - редуктора з передатним числом 0.0625, двоступінчатого редуктора із передатним числом 0.23, одноступінчатого мультиплікатора із передатним числом 2.25 та ручки, за допомогою якої відбувається прокручування механізму і як наслідок поворот енкодера, що досліджується.

Механізм у вигляді черв'ячного колеса і черв'яка потрібен для зменшення передатного числа і як наслідок більш точного визначення кута повороту енкодера. Черв'як у даному механізмі однозаходний, тому один поворот черв'яка поверне велике зубчасте колесо на 1 зуб або  $2.25^\circ (360^\circ / 160 \text{ (кількість обертів черв'яка для повного проходження повного кола великого зубчатого колеса)})$ .

Двоступінчатий редуктор потрібен для того, щоб встановити зручну грубу шкалу, де за один оберт стрілки сам енкодер повернеться на  $10^\circ$ . Перша ступінь редуктора зменшує кількість обертів, що передається у 2.222 рази. Друга ступінь редуктора зменшує кількість обертів, що передається ще у 2 рази, тому коли велике зубчасте колесо повернеться 4.444 рази (один оберт  $2.25^\circ$ )-

стрілка на шкалі редуктора пройде повне коло і засвідчить те, що енкодер повернутий на  $10^\circ$ .

Одноступінчатий мультиплікатор потрібен для того, щоб встановити зручну точну шкалу, де за один оберт стрілки сам енкодер повернеться на  $1^\circ$ . Зубчаста передача збільшує кількість обертів у 2.25 рази, тому коли велике зубчасте колесо повернеться 0.444 раз – стрілка на шкалі мультиплікатора пройде повне коло і засвідчить те, що енкодер повернутий на  $1^\circ$ .

Вищеперераховані редуктор і мультиплікатор були обрані з такими передатними числами, щоб було зручно встановлювати кут повороту енкодера, тобто який би поворот не був зроблений ми зможемо його визначити через зручне розбиття на 2 грубі та точну шкалу.

Розроблені циферблати для точної шкали, грубої шкали 1 та грубої шкали 2. Ці шкали є зручні в застосуванні та визначенні кута повороту енкодера, усі відмітки, штрихи та вказівники виконані за всіма вимогами.



## 2.2. Кінематичний розрахунок

Для побудови стенда для дослідження енкодерів було використано виданий механізм черв'ячного колеса, редуктора з передатним числом 1/160 (Рис.2.1, Рис.2.2).



Рис. 2.1 Механізм черв'ячного колеса і черв'яка

Тобто при повороті Зубчатого колеса 2 на  $360^\circ$  Зубчате колесо 1 (далі ЗК) повернеться на  $2.25^\circ$ . Реалізована передача за допомогою однозаходного черв'яка: ЗК2 (Рис.2.4) повернеться на  $360^\circ$ , тим самим створить один поворот черв'яка, який в свою чергу поверне Зубчате колесо 1 (Рис.2.3) на  $2.25^\circ$ .

Оскільки черв'як однозаходний, то кількість зубців на ЗК1 буде рівна кількості поворотів ЗК2 для створення повного повороту ЗК1, тобто 160 ( $z_1=160$ ). Діаметр ЗК рівний 81мм, тому можна розрахувати модуль цього колеса за формулою:

$$m=d/(z+2) \quad (2.1)$$

$$81/(160+2)=0.5;$$

де  $m, d, z$  – модуль, діаметр та кількість зубців ЗК відповідно. Звідси  $m_1$  (модуль ЗК1) рівний 0.5.



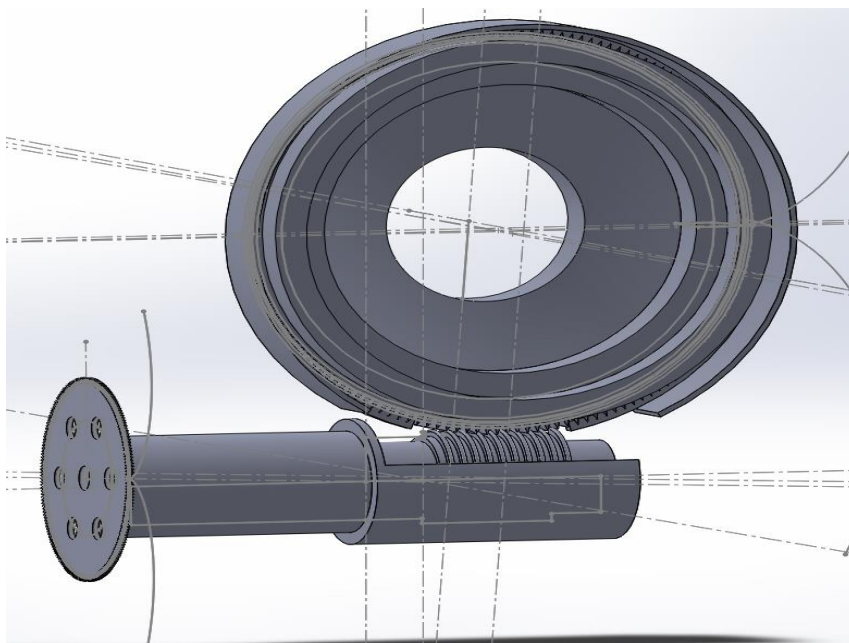


Рис. 2.2 Механізм черв'ячного колеса і черв'яка, побудований в програмному середовищі Solidworks

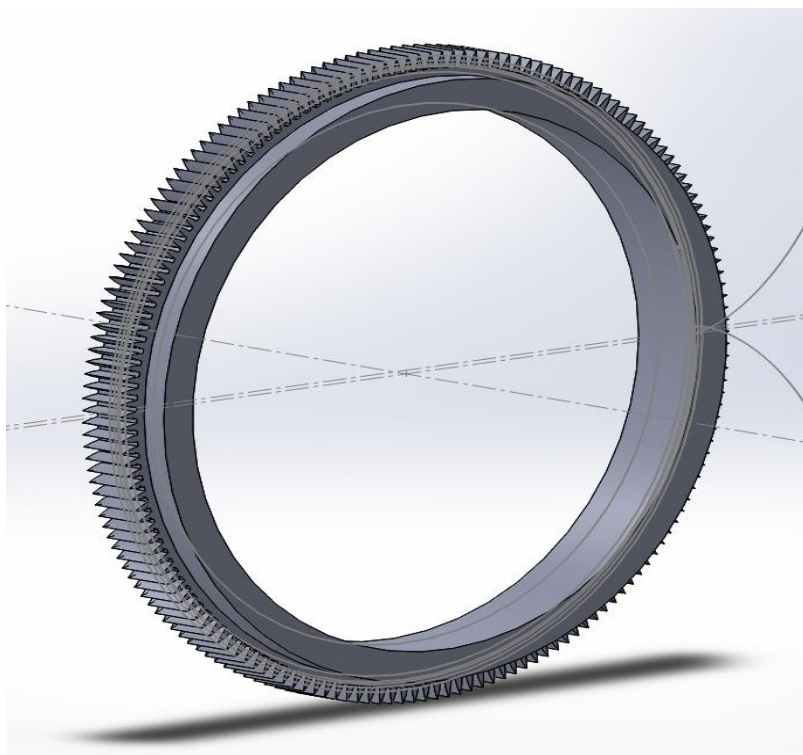


Рис. 2.3. Зубчате колесо 1

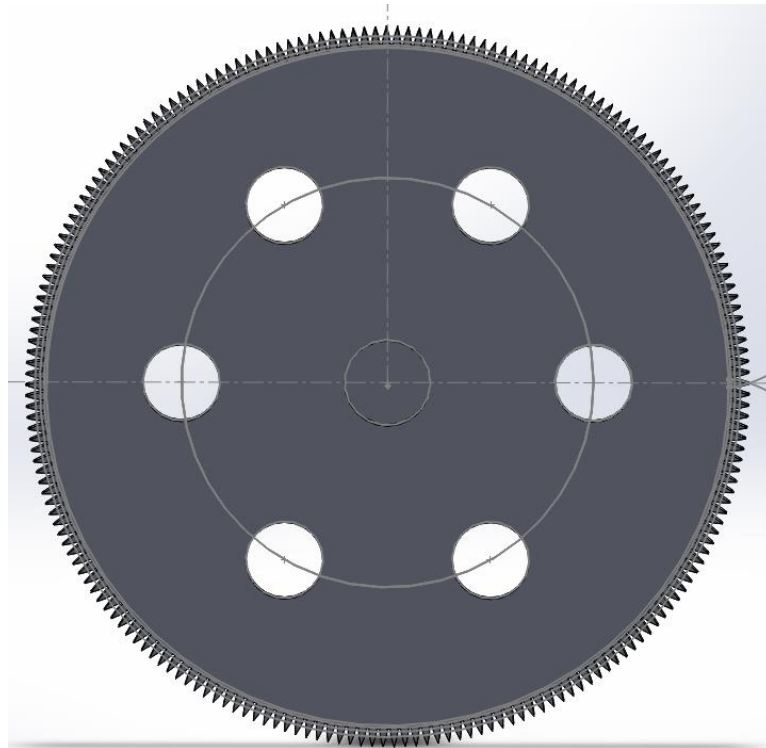


Рис. 2.4. Зубчате колесо 2

Відповідно до технічного завдання, для побудови високоточного станда потрібна точність у 1 кутову хвилину. Оскільки за один оберт ручки велике ЗК проходить  $2.25^\circ$  - потрібно приєднати мультиплікатор, який змінить це число до  $1^\circ$ . Для цього приєднаємо до ЗК2 ЗК, яке збільшить кількість обертів у 2.25 рази. Оскільки ЗК2 має модуль ( $m$ ) 0.3, кількість зубів ( $z$ ) 135 і передатне число  $2.25(i)$ , то ми можемо розрахувати колесо, яке до нього приєднане, тобто ЗК3 за формулою (2.1):

$$z_2 = z_1 / i_{12}; \quad (2.2)$$

$$z_2 = 135 / 2.25 = 60;$$

При повороті керуючого валу (ручки) механізму на 360град – ЗК1 на 1 град., що нам і потрібно для встановлення точної величини повороту.

Розрізняють прості та збиті передаточні числа. Простими є такі передаточні числа, коли число зубів колеса кратне числу зубів колеса з яким воно зчіплюється. Наприклад:

$$\frac{z_2}{z_1} = \frac{30}{30}; \frac{40}{20}; \frac{100}{25};$$

Збитими називають такі передатні числа, коли число зубів колеса кратне числу зубів з яким воно зчіплюється. Наприклад:

$$\frac{z_2}{z_1} = \frac{31}{30}; \frac{40}{21}; \frac{100}{26};$$

У даному механізмі наявна зубчата передача, в якій передатне число зубчатої передачі не кратне числам зубів ЗК6 та ЗК7, а саме:

$$\frac{z_6}{z_5} = \frac{23}{51} = 0.45;$$

Оскільки відома кількість зубів ЗК2, а діаметр можна виміряти – розрахуємо модуль цього колеса та ЗК3 за формулою (2.1):

$$m_2 = 41.1/137 = 0.3;$$

Для спрощення технологічного процесу у всіх інших ЗК цього редуктора модуль буде таким, тобто  $m=0.3$ . Звідси, розрахуємо діаметр та кількість зубів інших коліс. Оскільки передатне число у кожній з передач рівне трьом, а модуль 0.3 – знайдемо  $d_6$ ,  $d_7$ ,  $d_8$  та  $d_9$ . ЗК4 та ЗК5 будуть еквівалентними до ЗК2, тобто діаметри та кількість зубів у них також буде рівна. Для створення редуктора підбиралися ЗК, які найбільше підходять враховуючи потрібне нам передатне відношення, тому кількість зубців ЗК6 рівна 51 ( $z_6 = 51$ ). Оскільки передатне число між ЗК6 та ЗК7 дорівнює 0.444 – знайдемо кількість зубців ЗК7:

$$z_7 = 51 \cdot 0.444 = 23;$$

Оскільки передатне число другої ступені редуктора рівне 0.5, тоді знайдемо  $z_8$  та  $z_9$ . Оскільки в нас вже є ЗК7 – застосуємо однакове колесо для ступені редуктора, тобто  $z_9 = 23$ , тоді за формулою (2.3) знайдемо  $z_8$ :

$$z_8 = z_9 / i_{89}; \quad (2.3)$$

$$z_8 = 23/0.5 = 46;$$

Тепер знаючи модулі та кількість зубів усіх ЗК механізму – дізнаємося діаметри усіх коліс за формулою (2.4):

$$d=m \cdot (z+2); \quad (2.4)$$

$$d_2 = d_4 = d_5 = 0.3 \cdot 137 = 41.1(\text{мм});$$

$$d_3 = 0.3 \cdot 62 = 18.6(\text{мм});$$

$$d_6 = 0.3 \cdot 53 = 15.9(\text{мм});$$

$$d_7 = 0.3 \cdot 25 = 7.5(\text{мм});$$

$$d_8 = 0.3 \cdot 46 = 14.4(\text{мм});$$

$$d_9 = 0.3 \cdot 23 = 7.5(\text{мм});$$

Оскільки нам відомі повні діаметри – знайдемо ділильні діаметри ЗК2, ЗК3, ЗК4, ЗК5, ЗК6, ЗК7, ЗК8 та ЗК9 за формулою(2.5):

$$d_d = d - 2m; \quad (2.5)$$

$$d_{d1} = d_1 - 2m = 81 - 0.5 \cdot 2 = 80(\text{мм});$$

$$d_{d2} = d_{d4} = d_{d5} = d_2 - 2m = 41.1 - 0.3 \cdot 2 = 40.5(\text{мм});$$

$$d_{d3} = d_3 - 2m = 18.6 - 0.3 \cdot 2 = 18(\text{мм});$$

$$d_{d6} = d_6 - 2m = 15.9 - 0.3 \cdot 2 = 15.3(\text{мм});$$

$$d_{d7} = d_7 - 2m = 7.5 - 0.3 \cdot 2 = 6.9(\text{мм});$$

$$d_{d8} = d_8 - 2m = 14.4 - 0.3 \cdot 2 = 13.8(\text{мм});$$

$$d_{d9} = d_9 - 2m = 7.5 - 0.3 \cdot 2 = 6.9(\text{мм});$$

Отже, у нас є всі дані для побудови кінематичної схеми даного механізму(Рис.2.5):

Знайдемо кут між осями зубів за формулою(2.6):

$$\alpha = 360^\circ / z; \quad (2.6)$$

$$\alpha_1 = 360^\circ / 160 = 2.25^\circ - \text{кут між осями зубів ЗК1};$$

$$\alpha_2 = 360^\circ / 135 = 2.667^\circ - \text{кут між осями зубів ЗК2};$$

$$\alpha_3 = 360^\circ / 60 = 6^\circ - \text{кут між осями зубів ЗК3};$$

$\alpha_4 = \alpha_5 = \alpha_2 = 360^\circ/135 = 2.667^\circ$  - кут між осями зубів ЗК4 та ЗК5 буде рівний, оскільки  $z_4 = z_5$ ;

$\alpha_6 = 360^\circ/51 = 7.05^\circ$  - кут між осями зубів ЗК6;

$\alpha_7 = 360^\circ/23 = 15.65^\circ$  - кут між осями зубів ЗК7;

$\alpha_8 = 360^\circ/60 = 6^\circ$  - кут між осями зубів ЗК8;

$\alpha_9 = 360^\circ/60 = 6^\circ$  - кут між осями зубів ЗК9;

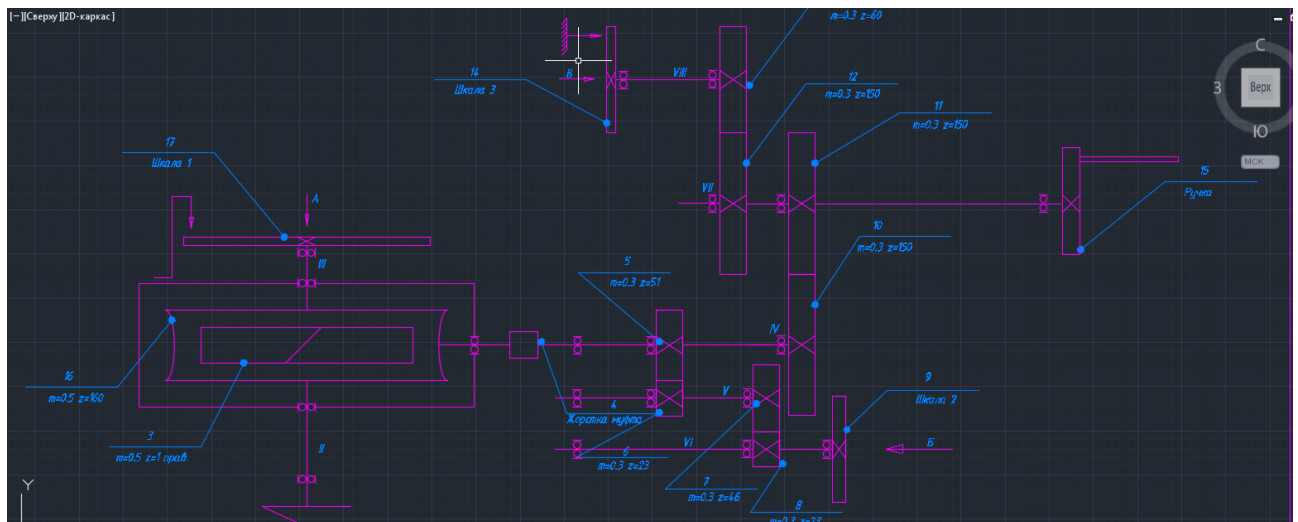


Рис. 2.5. Кінематична схема механізму

Знаючи кут між осями зубів можна розрахувати діаметр початкового кола для кожного із ЗК за формулою (2.7):

$$d_b = d_d \cdot \cos \alpha; \quad (2.7)$$

де  $\alpha$  – кут між осями сусідніх зубів,  $d_d$  – ділительний діаметр ЗК;

$d_{b1} = d_{d1} \cdot \cos \alpha = 80 \cdot \cos(2.25^\circ) = 79.94$  (мм) – ділительний діаметр ЗК1;

$d_{b2} = d_{d2} \cdot \cos \alpha = 40.5 \cdot \cos(2.667^\circ) = 40.46$  (мм) – ділительний діаметр ЗК2;

$d_{b3} = d_{d3} \cdot \cos \alpha = 18 \cdot \cos(6^\circ) = 17.9$  (мм) – ділительний діаметр ЗК3;

$d_{b4} = d_{b5} = d_{b2} = 40.5 \cdot \cos(2.667^\circ) = 40.46$  (мм) – ділительний діаметр ЗК4 та ЗК5;

$d_{b6} = d_{d6} \cdot \cos \alpha = 15.3 \cdot \cos(7.05^\circ) = 15.18$  (мм) – ділительний діаметр ЗК6;

$d_{b7} = d_{d7} \cdot \cos \alpha = 6.9 \cdot \cos(15.65^\circ) = 6.64$  (мм) – ділительний діаметр ЗК7;

$d_{b8} = d_{д8} \cdot \cos\alpha = 13.8 \cdot \cos(7.82^\circ) = 13.67$  (мм) – ділильний діаметр ЗК8;

$d_{b9} = d_{д9} \cdot \cos\alpha = 6.9 \cdot \cos(15.65^\circ) = 6.64$  (мм) – ділильний діаметр ЗК9;

Можемо розрахувати діаметр впадин для кожного із ЗК за формулою(2.8):

$$d_f = d_d - m \cdot 2.5; \quad (2.8)$$

$d_{f1} = d_{д1} - m \cdot 2.5 = 80 - 0.5 \cdot 2.5 = 78.75$  (мм)- діаметр впадин ЗК1;

$d_{f2} = d_{д2} - m \cdot 2.5 = 40.5 - 0.3 \cdot 2.5 = 39.75$  (мм)- діаметр впадин ЗК2;

$d_{f3} = d_{д3} - m \cdot 2.5 = 18 - 0.3 \cdot 2.5 = 17.25$  (мм)- діаметр впадин ЗК3;

$d_{f4} = d_{f5} = d_{f2} = 39.75$  (мм)- діаметр впадин ЗК4, ЗК5;

$d_{f6} = d_{д6} - m \cdot 2.5 = 15.3 - 0.3 \cdot 2.5 = 14.55$  (мм)- діаметр впадин ЗК6;

$d_{f7} = d_{д7} - m \cdot 2.5 = 6.9 - 0.3 \cdot 2.5 = 6.15$  (мм)- діаметр впадин ЗК7;

$d_{f8} = d_{д8} - m \cdot 2.5 = 13.8 - 0.3 \cdot 2.5 = 13.05$  (мм)- діаметр впадин ЗК8;

$d_{f9} = d_{д9} - m \cdot 2.5 = 6.9 - 0.3 \cdot 2.5 = 6.15$  (мм)- діаметр впадин ЗК9;

Товщину зуба ЗК можна знайти знаючи лише модуль, використовуючи формулу (2.9):

$$S = m \cdot \pi / 2; \quad (2.9)$$

де  $S$  – товщина зуба ЗК,  $m$  – модуль зуба,  $\pi$  – число пі;

$S_1 = 0.5 \cdot \pi / 2 = 0.785$  (мм) - товщина зуба ЗК 1;

$S_2 = 0.3 \cdot \pi / 2 = 0.471$  (мм) - товщина зуба ЗК 2, оскільки модулі ЗК2, ЗК3, ЗК4, ЗК5, ЗК6, ЗК7, ЗК8, ЗК9 – рівні, то і товщина зуба також буде також рівною, тобто:

$S_2 = S_3 = S_4 = S_5 = S_6 = S_7 = S_8 = S_9 = 0.471$  (мм).

Відповідно, можемо знайти крок зціплення ЗК за ділильною окружністю за формулою знаходиться схожим чином до знаходження товщини зуба ЗК(2.10):

$$p = m \cdot \pi; \quad (2.10)$$

$p_1 = m_1 \cdot \pi = 1.57$  (мм) – крок зціплення ЗК1 з ділильною окружністю;

$p_2 = m_2 \cdot \pi = 0.942$  (мм) – крок зчеплення ЗК 2 з ділильною окружністю, оскільки модулі ЗК2, ЗК3, ЗК4, ЗК5, ЗК6, ЗК7, ЗК8, ЗК9 – рівні, тоді буде рівним і крок зчеплення ЗК за ділильною окружністю, тобто:  $p_2 = p_3 = p_4 = p_5 = p_6 = p_7 = p_8 = p_9 = 0.942$  (мм).

### 2.3 Розрахунок грубої та точної шкали механізму

Відлікові пристрої можна поділити на два основних типи:

- 1) З рухомою шкалою і нерухомим вказівником – індексом.
- 2) З нерухомою шкалою і рухомим вказівником – стрілкою.

За формою носія та поверхні, на якій наносяться відмітки, розрізняють шкали:

- 1) Плоскі – прямі, дугові, кругові, дискові, спіральні.
- 2) Просторові – циліндричні, конічні та гвинтові.

В нашому ж механізмі буде представлений відліковий пристрій з нерухомою плоскою прямою шкалою .

Для зручного отримання даних з даного механізму необхідно встановити грубу та точну шкали, які будуть показувати кругове переміщення ЗК1. Встановити їх потрібно послідовно :

1. Точна шкала.
2. Груба шкала 1.
3. Груба шкала 2.

Грубу шкалу, яка встановлюється на ЗК1 для зручності відліку розіб'ємо на десятки градусів, тобто вона містити  $360 \text{ градусів} / 10 \text{ градусів(ціна поділка)} = 36$  поділок. А циферблат цієї шкали міститиме відліки 0, 90, 180, 270(рис. 2.6).

Для того, щоб обмежитися двома шкалами для відліку встановлених в ТЗ кутів груба шкала має містити не менше 135 поділок в 2,25 градуси. Проте така велика кількість штрихів на шкалі не зручна та будуть існувати проблеми з точністю виготовлення та зняття даних з такої шкали. А тому було вирішено

поставити проміжну грубу шкалу, що буде виконувати відлік в одиницях градусів від 0 до 10 градусів – в межах одної поділки 1-ої грубої шкали.

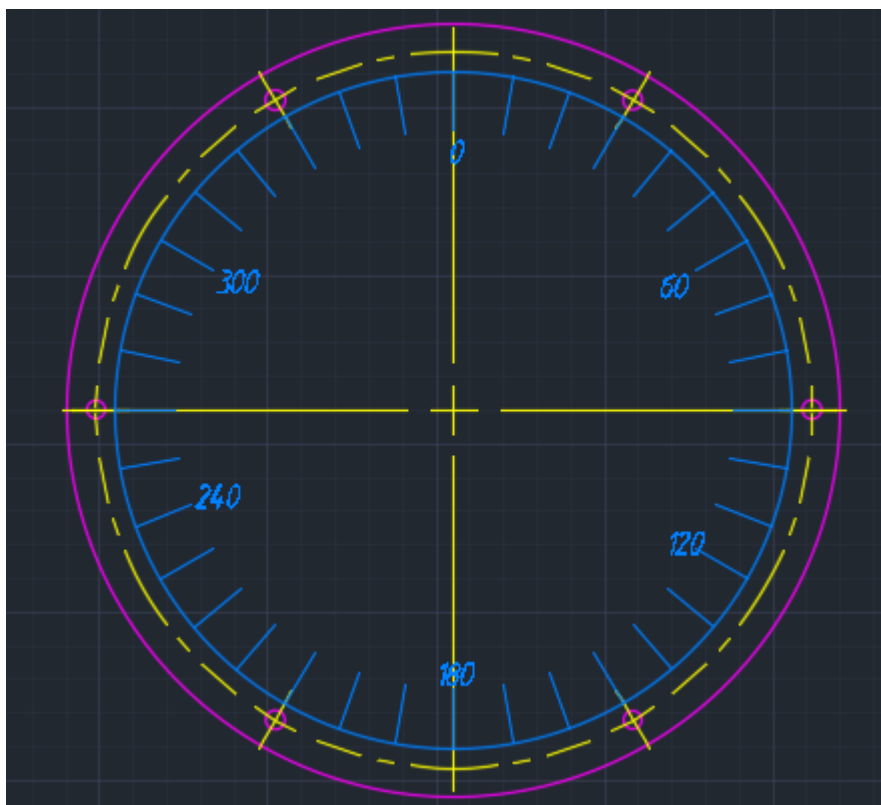


Рис. 2.6. Груба шкала 2

Отже, друга груба шкала даватиме можливість виконувати відліки по 1 градусу, кількість поділок – 10. Тобто, ціна одного повороту проміжної грубої шкали рівна  $10^\circ$ . А циферблат цієї шкали міститиме відліки 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 (Рис. 2.7).

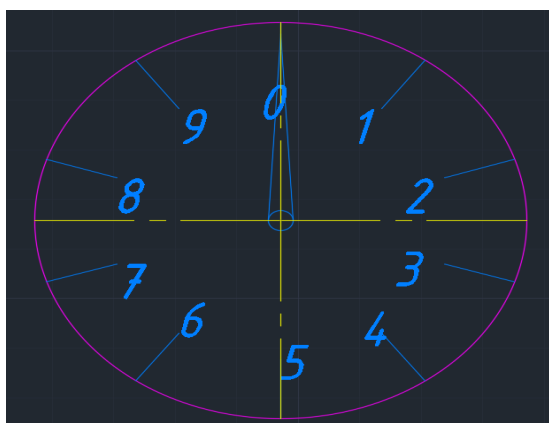


Рис.2.7. Груба шкала 1.



Оскільки нам важлива точність у 1 кут.хв - встановимо циферблат точної шкали з ціною поділки 1 кут.хв та кількістю поділок - 60, вийде, що ціна одного повороту рівна 60 кут.хв, або  $1^\circ$ . А циферблат цієї шкали міститиме відліки 0, 10, 20, 30, 40, 50 (Рис.2.7).

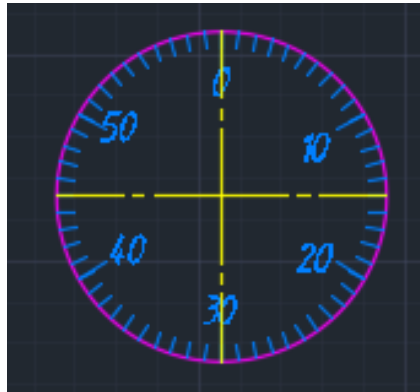


Рис.2.7. Точна шкала.

У залежності від призначення і технічних вимог в відлікових механізмах використовують нерухомі або рухомі кругові(дугові) та прямолінійні шкали в поєднанні із рухомими чи нерухомими вказівниками. Найбільше поширення мають кругові нерухомі шкали при рухомому вказівнику. Відмітки на шкалах поділяють на три види:

1. Головні, які показують всі цілі числа.
2. Середні, які показують  $1/2$  чи  $1/5$  частину від головної поділки.
3. Малі, які показують  $1/5$  чи  $1/10$  частину від головної поділки.

На точній шкалі будуть наявні середні відмітки:  $0^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $40^\circ$ ,  $50^\circ$ , тобто кожні 60 градусів нова відмітка.

На проміжній грубій шкалі 1 будуть наявні головні відмітки:  $0^\circ$ ,  $1^\circ$ ,  $2^\circ$ ,  $3^\circ$  ...  $9^\circ$  тобто кожні  $36^\circ$  нова відмітка, у той час як головна відмітка  $1^\circ$  повороту валу енкодера - кожних 36 градусів шкали.

На грубій шкалі 2 будуть наявні середні відмітки:  $0^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $180^\circ$ ,  $240^\circ$ ,  $300^\circ$  тобто кожні  $60^\circ$  нова відмітка, у той час як на грубій шкалі 1 створиться оберт, який буде рівним  $10^\circ$  на грубій шкалі 2, а це  $1/6$  від  $60^\circ$ .

Точність відліку визначається не тільки конструкцією шкали, а й формою і розмірами вказівника. При проектуванні та експлуатації приладів до вказівників пред'являють ряд вимог:

- 1) Вказівний кінець стрілки не має бути товщим за найтоншу відмітку на шкалі.
- 2) Довжину стрілки вибирають таким чином, щоб вказівний кінець перекривав від  $1/4$  до  $3/4$  висоти найменшої відмітки по шкалі.
- 3) Форма вказівника повинна бути такою, щоб момент опору поперечного перерізу був найбільшим при найменшій вазі і моменті інерції самого вказівника відносно його осі обертання. Протилежний кінець вказівника має урівноважувати вказівну частину.
- 4) Для захисту приладу від поломки при перевантаженнях переміщення вказівника необхідно обмежувати еластичними упорами. Для зменшення деформації вказівника при ударі об упор його розташовують на відстані  $2/3$  від довжини вказівника від осі обертання.
- 5) Власна частота коливань вказівника не повинна співпадати з частотами приладу, які виникають при його експлуатації.

Виходячи з обраних шкал, похибка буде становити 1 кут.хв, оскільки вона становить половину від ціни поділки Точної шкали.

Характеристикою шкали називається залежність між кутом відхилення  $\alpha$  вказівника рухомої системи приладу і значення величини  $X$ , яка вимірюється приладом, тобто  $\alpha=f(X)$ . Чутливістю приладу називається перша похідна від характеристики шкали  $S = d\alpha/dX$ .

Характер шкали можна визначити по величині і знаку другої похідної від рівняння шкали  $\alpha=f(X)$ .

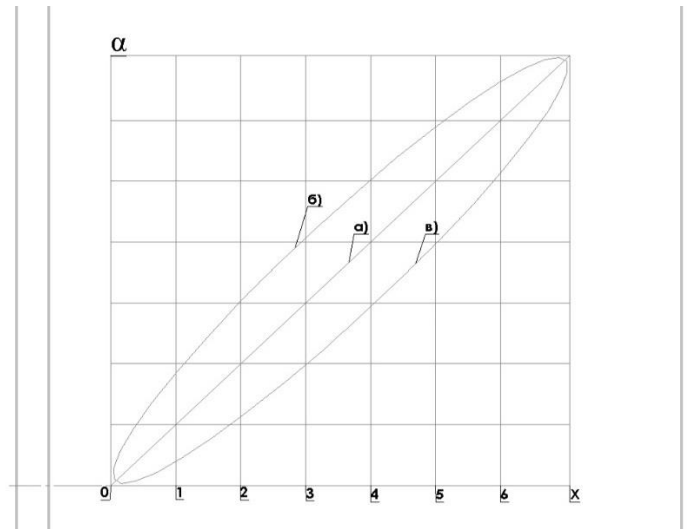


Рис. 2.8. Характеристики шкал

Якщо  $d^2\alpha/d^2X = 0$ , то характеристика шкали лінійна, чутливість приладу постійна по всій шкалі, шкала приладу постійна по всій шкалі, шкала приладу рівномірна (Рис. 2.8.а).

Якщо  $d^2\alpha/d^2X < 0$ , то характеристика шкали нелінійна, чутливість приладу зі збільшенням кута  $\alpha$  зменшується, шкала нерівномірна, має поділки, які зменшуються до кінця шкали (Рис. 2.8.б).

Якщо  $d^2\alpha/d^2X > 0$ , то характеристика шкали нелінійна, чутливість приладу зі збільшенням кута  $\alpha$  збільшується, шкала нерівномірна, має поділки, які зменшуються до кінця шкали (Рис. 2.8.в).

В нашому механізмі  $d^2\alpha/d^2X = 0$ , тому наша характеристика лінійна, чутливість приладу постійна по всій шкалі, шкала приладу постійна по всій шкалі, шкала приладу рівномірна.

Товщину штрихів для шкал, які застосовуються в даному механізмі – рекомендовано брати – 0.15мм.

Найменша величина інтервалу шкали (мінімальна відстань між штрихами) обмежується важкістю підрахунку через те, що штрихи зливаються і зазвичай робиться не менше, ніж 1 мм. В даному механізмі відстань між штрихами достатньо велика для комфортного та точного дослідження величини, показаної на них.

Наконечник стрілок чи вказівника має бути простим, а товщина кінця стрілки не повинна перевищувати ширину малого штриха шкали.

Допустимі довжини штрихів:

1. При величині найменшого інтервалу шкали від 0.8 до 1.2 мм – довжина головного штриха - 3.3 мм, середнього – 2.6 мм, малого – 1.8 мм.
2. При величині найменшого інтервалу шкали від 1.2 до 2 мм – довжина головного штриха – 4 мм, середнього – 3 мм, малого – 2мм.
3. При величині найменшого інтервалу шкали від 2 до 3 мм – довжина головного штриха – 5 мм, середнього – 3.8 мм, малого – 2.5 мм.
4. При величині найменшого інтервалу шкали від 3 до 5 мм – довжина головного штриха – 6 мм, середнього – 4.5 мм, малого – 3 мм.

При розробці шкал – були враховані допустимі значення штрихів, товщина стрілок, найменша величина інтервалу шкали та товщина штрихів для шкал.

## 2.4 Розрахунок точності механізму

При роботі в зціпленні двох однаково ідеальних еталонних ЗК в будь-який момент часу кути їх повороту рівні між собою. Якщо одне із коліс має технологічні помилки, які викликають похибки кроку і профілю, то величина цих помилок може бути врахована комплексно, по різності кутів повороту еталонного – ведучого колеса і робочого – те яке ведуть. Комплексна похибка називається додатною, якщо кут повороту колеса, яке ведуть більше, ніж ведуче і від’ємною, якщо навпаки.

Під кінематичною похибкою передачі розуміється величина(2.11):

$$F_{кшп} = (\varphi_{2д} - \varphi_{2н})r; \quad (2.11)$$

де  $r$ - радіус ділильною окружності колеса, яке ведуть;  $\varphi_{2д} - \varphi_{2н}$  - різниця між дійсним і номінальним кутами повороту ЗК, яке ведуть.

Найбільша кінематична похибка передачі визначається максимальною алгебраїчною різницею значень кінематичної похибки за повний оберт колеса, яке ведуть і нормується допуском. Який рівний сумі накопичених похибок кроку і профілю, які допускаються.

Кінематична похибка визначає ступінь узгодження рухів ведучого і ланки, яку ведуть і характеризує перш за все точність передачі.

У даному механізмі  $\varphi_{2д} - \varphi_{2н}$  має бути рівним нулю, а отже і сама похибка, оскільки даний механізм є високоточним і подібна похибка є недопустимою.

Циклічна похибка передачі – сума максимальних похибок при повороті колеса на один зуб, тобто на  $1/z$  обороту. Величина цієї похибки  $f_{zкоf}$  перш за все визначається радіальним биттям зубчатого вінця і нормується допуском  $f_{zко}$ .

Циклічна похибка призводить до непостійності миттєвих передаточних відношень, до різких змін швидкостей і появленню ударних навантажень, вібрації та шуму. Ця похибка перш за все визначає роботи передачі.

Похибка відліку по шкалі визначається параметрами і конструкцією шкали та вказівника, умовами спостереження, а також суб'єктивними особливостями наглядача.

Розрахуємо плавність зціплення, яка залежить від кількості одночасно працюючих пар зубів і визначається за величиною коефіцієнта перекриття за формулою(2.12):

$$\varepsilon_{\gamma} = \frac{\varphi_{\gamma}}{\tau}; \quad (2.12)$$

де  $\varphi_{\gamma}$  - кут перекриття, тобто кут повороту ЗК від положення входу зуба в зціплення до виходу із зціплення;  $\tau = \frac{2\pi}{z}$  - кутовий крок.

$\varepsilon_{\gamma 1} = 0.8/(2\pi /160) = 20.371$  – коефіцієнт перекриття ЗК1;

$\varepsilon_{\gamma 2} = 0.9/(2\pi /135) = 19.337$  – коефіцієнт перекриття ЗК2;

$\varepsilon_{\gamma 3} = 2.3/(2\pi /60) = 19.099$  – коефіцієнт перекриття ЗК3;

$\varepsilon_{\gamma 4} = \varepsilon_{\gamma 5} = 0.91 / (2\pi / 135) = 19.552$  – коефіцієнт перекриття ЗК4 та ЗК5;

$\varepsilon_{\gamma 6} = 2 / (2\pi / 51) = 16.234$  – коефіцієнт перекриття ЗК6;

$\varepsilon_{\gamma 6} = 4.9 / (2\pi / 23) = 17.937$  – коефіцієнт перекриття ЗК7;

$\varepsilon_{\gamma 6} = 2 / (2\pi / 46) = 19.767$  – коефіцієнт перекриття ЗК8;

$\varepsilon_{\gamma 6} = 4.8 / (2\pi / 23) = 17.571$  – коефіцієнт перекриття ЗК9;

При нормальній плавності зціплення величина коефіцієнта перекриття має лежати у межах: 1.4-2.5. Якщо  $\varepsilon_{\gamma} < 1.1$  – плавність передачі порушується і це може призвести до поштовхів в процесі зціплення.

Оскільки коефіцієнти до кожного із ЗК лежать у цих межах – можна зробити висновок, що механізм має тільки плавні зціплення і поштовхи в процесі зціплення відбуватися не будуть.

Ширина штриха поділки повинна бути біля 0.1, а висота – 1.5-2 довжини поділки. При ширині штрихів менше, ніж 0.1 інтервалу поділки ускладнюється відлік десятих частин поділки. При більшій ширині штрихів важко визначити положення кінця вказівника відносно відмітки. При висоті штрихів потроєної довжини поділки, похибка відліку зростає через удаване зближення штрихів.

Окрім похибок відліку, які виникають через різної ширини штрихів при оцінці десятих частин поділок на око, з'являються систематичні похибки, які властиві кожному спостерігачу.

При знятті відліку у випадку, коли око спостерігача розташоване не перпендикулярно відносно шкали, виникає помилка внаслідок паралаксу (видиме зміщення штрихів і вказівника при спостереженні в їх напрямку, не перпендикулярному площині шкали). Проводячи відлік по всій довжині шкали приладу із одного положення, похибка відліку паралаксу знаходимо за формулою (2.13):

$$\Delta = h \operatorname{tg} \varphi = h \frac{H}{L} ; \quad (2.13)$$

де,  $\Delta$  - похибка відліку;  $h$  – відстань від шкали до вказівника;  $H$  – положення вказівника відносно шкали;  $L$  – відстань від ока спостерігача до вказівника.

Похибки від паралакса знижуються зі зменшенням відстані  $h$  між шкалою і вказівником.

## ВИСНОВОК

Усі поставлені задачі в ПЗ –виконані. Огляд енкодерів, існуючих стендів та рішень виконано, кінематичний розрахунок механізму стенда виконано, розрахунок шкал та точності стенду виконано, проектування механізмів кріплення енкодерів та під'єднання їх до стенду – виконано, усі кресленики – зроблені.

Я зайвий раз переконався, що тема, яку я обрав є дуже цікавою і корисною у наш час, адже за допомогою цього стенду можна проводити точні дослідження з енкодерами. Оскільки цей стенд є високоточним його використання можна запропонувати багатьом фірмам для тестування точності енкодерів.

У найближчий планується повна збірка цього стенду та пробного запровадження на кафедрі для проведення лабораторних робіт для студентів. На даному стенді можна тестувати велику кількість різних енкодерів, переважна більшість підійде до тестування на випробувальному стенді.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

### Електронні ресурси

1. <https://ukr.thehouseofchronic.com/4206661-encoder-is-..-incremental-encoder>
2. <https://electrosam.ru/glavnaja/slabotochnye-seti/oborudovanie/enkodery/>
3. <https://www.prom-tex.org/solutions/proektirovanie-stendov-pod-klyuch/ispytatelnye-stendy-dlya-mashin-i-oborudovaniya/>
4. <https://ukr.thehouseofchronic.com/4206661-encoder-is-..-incremental-encoder>
5. <https://ecoruspace.me/%D0%A1%D1%82%D0%BE%D0%BB+%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D1%80%D0%BE%D1%82%D0%BD%D1%8B%D0%B9+%D1%86%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9+%D0%A1%D0%9F%D0%A6-383.html>
6. <http://www.sensorica.ru/docs/encoder.shtml>
7. [https://kuebler.com.ua/?inc=products/01\\_encoders/01\\_incremental](https://kuebler.com.ua/?inc=products/01_encoders/01_incremental)
8. [https://kuebler.com.ua/?inc=products/01\\_encoders/03\\_absolut\\_multi](https://kuebler.com.ua/?inc=products/01_encoders/03_absolut_multi)

### Книги

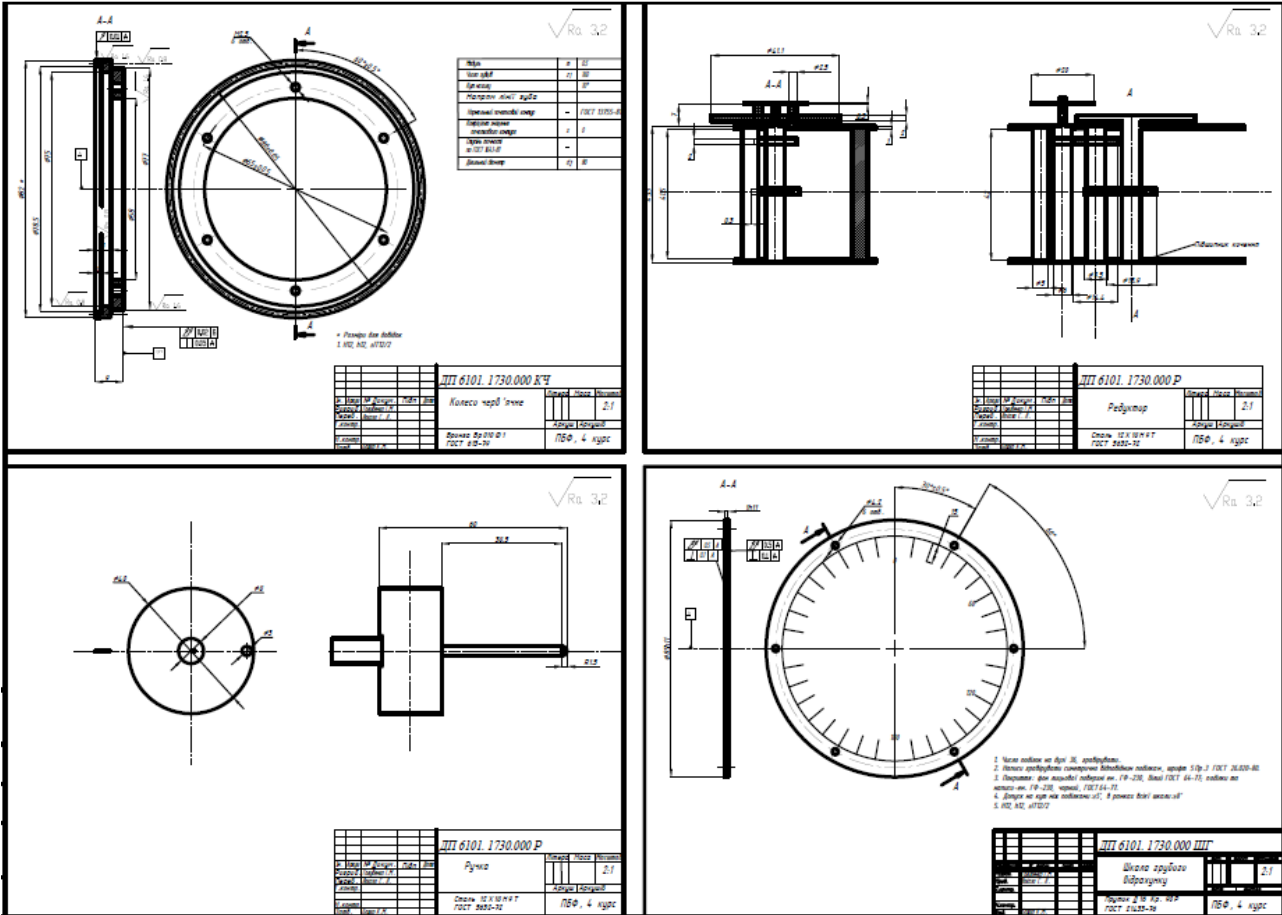
9. <https://autonics.nt-rt.ru/images/showcase/catalog.pdf> Каталог||Autonics.
10. [https://kuebler.com.ua/pdf/increment/2400-2420\\_en.pdf](https://kuebler.com.ua/pdf/increment/2400-2420_en.pdf) Специфікація 2400-2420 || Kuebler
11. [https://kuebler.com.ua/pdf/increment/KIS40-KIH40\\_en.pdf](https://kuebler.com.ua/pdf/increment/KIS40-KIH40_en.pdf) Специфікація KIS40-KIH40 || Kuebler
12. [https://kuebler.com.ua/pdf/increment/5000-5020\\_en.pdf](https://kuebler.com.ua/pdf/increment/5000-5020_en.pdf) Специфікація 5000-5020 || Kuebler
13. [https://kuebler.com.ua/pdf/absolute/F3663-F3683\\_en.pdf](https://kuebler.com.ua/pdf/absolute/F3663-F3683_en.pdf) Специфікація F3663-F3683 || Kuebler
14. [https://kuebler.com.ua/pdf/absolute/M3661-M3681\\_en.pdf](https://kuebler.com.ua/pdf/absolute/M3661-M3681_en.pdf) Специфікація M3661-M3681 || Kuebler
15. [https://kuebler.com.ua/pdf/absolute/T3661-T3681\\_en.pdf](https://kuebler.com.ua/pdf/absolute/T3661-T3681_en.pdf) Специфікація T3661-T3681 || Kuebler

16. Первицкий Ю.Д. Расчет и конструирование точных механизмов. Учебное пособие для вузов. Изд. 2-е, доп. И переработ. Л., «Машиностроение» (Ленингр. Отд-ние), 1976. 456 с. с ил.
17. Бойко В.А., Клименко Ю.В., Корнійчук.  
Курсові та дипломні проекти Вимоги до оформлення документації. – К.: «Корнійчук», 2003.-176 с.
18. Элементы приборных устройств: Курсовое проектирование. Учебн. Пособие для вузов. В 2-х ч. Ч1. Расчеты/Н.П.Нестерова, А.П. Коваленко, О.Ф. Тищенко и др.; Под ред. О.Ф.Тищенко. – М.: Высш. школа, 1978. – 328с., ил.
19. Элементы приборных устройств(Основной курс): Учебное пособие для студентов. В 2-х ч. Ч2. Приводы, преобразователи, исполнительные устройства / Тищенко О.Ф. Киселев Л.Т., Коваленко А.П., и др.; Под ред. О.Ф.Тищенко. – М.: Высш. школа, 1982. – 263с., ил.
20. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3 т. Т. 1. – 8-е изд., перераб. И доп. Под ред. И. Н. Жестоковой. – М.: Машиностроение, 2001. – 920 с.: ил.
21. Милосердин Ю.В., Лакин Ю.Г. Расчет и конструирование механизмов и установок. Учебное пособие для приборостроительных инженерно-физических специальностей вузов. М., «Машиностроение». 1978, 320 с. с ил.

#### **Курси, конспекти лекцій, методичні рекомендації**

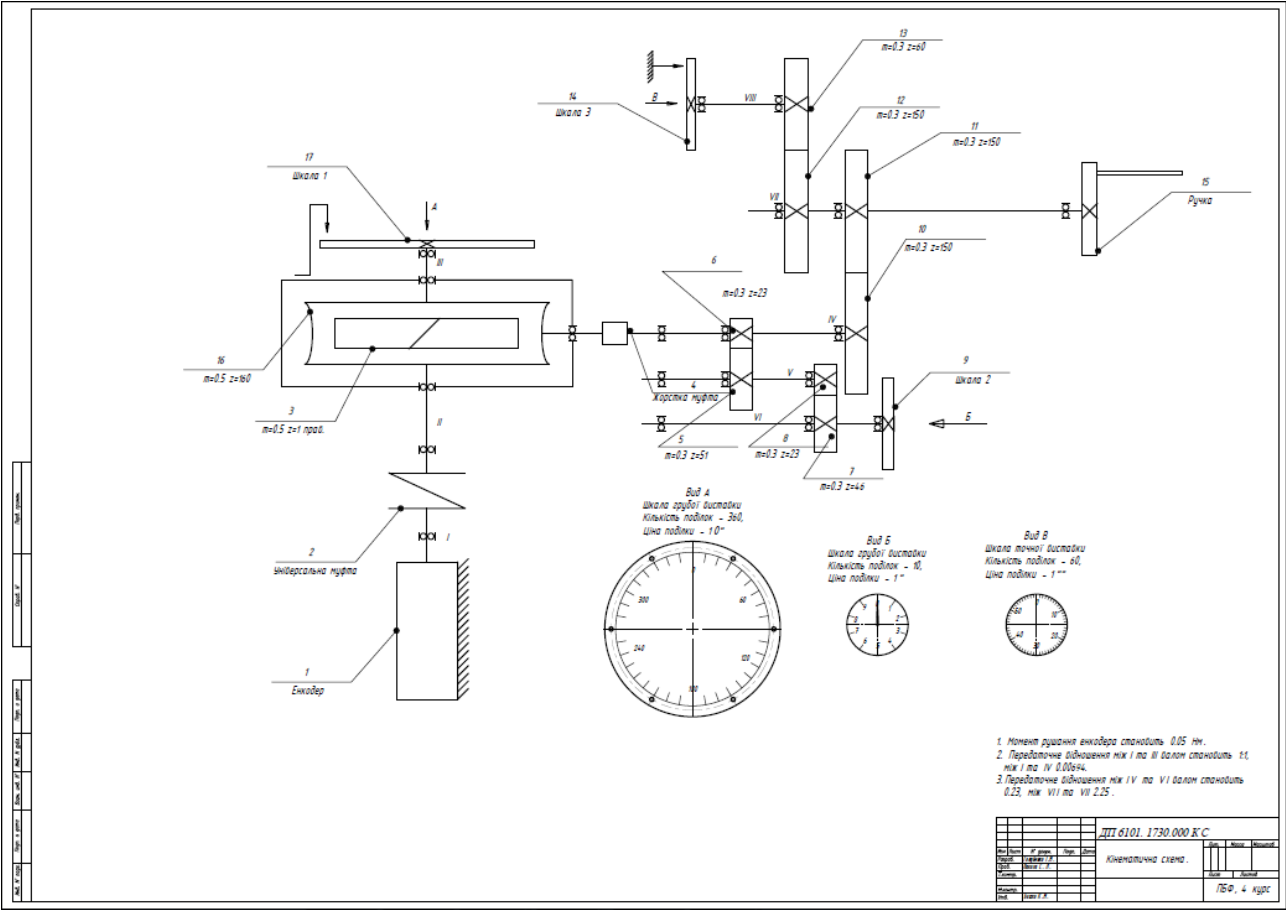
22. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Системи орієнтації і стабілізації» / Уклад. П.М. Бондар, С.А. Мураховський. – електронне видання, 2015. – 46 с.

ДОДАТОК 1  
ДЕТАЛЮВАННЯ



ДОДАТОК 2

КІНЕМАТИЧНА СХЕМА





ДОДАТОК 4

СТЕНД. СКЛАДАЛЬНИЙ КРЕСЛЕНИК РОЗІБРАНИЙ

